

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Mizunori EZAKI, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: A VERTICAL-CAVITY SURFACE EMITTING LASER DIODE AND ITS MANUFACTURING METHOD

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS  
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number \_\_\_\_\_, filed \_\_\_\_\_, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e):  
Application No. Date Filed

☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2002-342085	November 26, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. \_\_\_\_\_ filed \_\_\_\_\_
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number \_\_\_\_\_  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. \_\_\_\_\_ filed \_\_\_\_\_; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)  
☐ are submitted herewith  
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland  
Registration Number 21,124

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000  
Fax. (703) 413-2220  
(OSMMN 05/03)

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 2 年 1 1 月 2 6 日  
Date of Application:

出 願 番 号            特 願 2 0 0 2 - 3 4 2 0 8 5  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 2 - 3 4 2 0 8 5 ]

出      願      人            株 式 会 社 東 芝  
Applicant(s):

2 0 0 3 年   7 月 3 0 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 PTS0227

【提出日】 平成14年11月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/00

【発明の名称】 面発光型半導体レーザ及びその製造方法

【請求項の数】 10

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝  
研究開発センター内

【氏名】 江崎 瑞仙

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝  
研究開発センター内

【氏名】 西垣 亨彦

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝  
研究開発センター内

【氏名】 高岡 圭児

【特許出願人】

【識別番号】 000003078

【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

【識別番号】 100088487

【弁理士】

【氏名又は名称】 松山 允之

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100108062

【弁理士】

【氏名又は名称】 日向寺 雅彦

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 087469

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 面発光型半導体レーザ及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被酸化層を含むメサの側面から前記被酸化層の酸化を進行させて形成した酸化領域を設けることにより前記被酸化層の酸化されていない部分に電流を狭窄させる面発光型半導体レーザであって、

前記被酸化層は、前記酸化されていない部分を実質的に取り囲む位置に、プロトンが注入されたプロトン含有領域を有することを特徴とする面発光型半導体レーザ。

【請求項 2】

第 1 及び第 2 の反射鏡と、

前記第 1 及び第 2 の反射鏡の間に設けられた活性層と、

酸化されていない部分と、前記酸化されていない部分の周りに設けられ酸化された酸化領域と、を有する被酸化層と、

を備え、前記酸化されていない部分に電流を狭窄し、前記第 1 及び第 2 の反射鏡の間でレーザ発振する面発光型半導体レーザであって、

前記被酸化層は、前記酸化されていない部分を実質的に取り囲む位置に、プロトンが注入されたプロトン含有領域を有することを特徴とする面発光型半導体レーザ。

【請求項 3】

基板と、

前記基板の上に設けられ発光領域を有する活性層と、

前記活性層を挟持し、前記基板に対して垂直方向の共振器を構成する第 1 及び第 2 の半導体多層膜反射鏡と、

前記活性層に電流を注入するための一対の電極と、

前記活性層の上または下に設けられた被酸化層と、

を備え、

前記被酸化層を含むメサが形成され、

前記被酸化層は、前記メサの側面から前記発光領域の近傍に至る抵抗の高い酸化領域と、前記酸化領域に囲まれ抵抗の低い酸化されていない部分と、前記酸化されていない部分を実質的に取り囲む位置に設けられプロトンが注入されたプロトン含有領域と、を有することを特徴とする面発光型半導体レーザ。

【請求項 4】

前記プロトン含有領域は、前記酸化領域と前記酸化されていない部分との境界付近に選択的に設けられ、前記酸化されていない部分の中央付近には設けられておらず、

前記一对の電極のうちで前記活性層の上に設けられた電極は、前記活性層から放出される光を外部に放出するための開口を有し、

前記開口は、前記酸化されていない部分のうちで前記プロトン含有領域よりも内側の部分よりも大なることを特徴とする請求項 3 記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項 5】

前記プロトン含有領域は、前記酸化領域と前記酸化されていない部分との境界付近に選択的に設けられ、前記酸化されていない部分の中央付近には設けられていないことを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 つに記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項 6】

前記プロトン含有領域は、前記酸化されていない部分の全体に亘って設けられたことを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 つに記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項 7】

前記プロトン含有領域におけるプロトンの濃度は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以下であることを特徴とする請求項 1～6 のいずれか 1 つに記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項 8】

前記活性層に対して膜面に沿った方向に引っ張り応力を与える膜をさらに備えたことを特徴とする請求項 1～7 のいずれか 1 つに記載の面発光型半導体レーザ

。

**【請求項 9】**

被酸化層の一部を酸化させて形成した酸化領域を設けることにより前記被酸化層の酸化されていない部分に電流を狭窄させる面発光型半導体レーザの製造方法であって、

前記被酸化層にプロトンを選択的に導入してプロトン含有部を形成する工程と

、

前記被酸化層の端部から前記プロトン含有部に至るまで酸化を進行させることにより前記酸化領域を形成する工程と、

を備えたことを特徴とする面発光型半導体レーザの製造方法。

**【請求項 10】**

前記プロトン含有領域におけるプロトンの濃度は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以下であることを特徴とする請求項 9 記載の面発光型半導体レーザの製造方法。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、面発光型半導体レーザ及びその製造方法に関し、特に、微小な電流狭窄構造を精密に形成できる面発光型半導体レーザ及びその製造方法に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

半導体レーザや半導体発光ダイオード等の半導体発光素子は、光通信分野をはじめとして、CD (Compact Disc) やDVD (Digital Versatile Disc) 等の光ディスクシステム或いはバーコード・リーダ等において、広く使用されている。

**【0003】**

このような半導体発光素子の中で、「面発光型半導体レーザ」は、活性層の上下に設けられた反射鏡により共振器構造を構成するものであり、基板に対して垂直方向にレーザ光が射出されるものである。

**【0004】**

この面発光型半導体レーザは、基板上に二次元的に多数のレーザ素子を集積化

できるため、高速光LAN (Local Area Network) や、光インターコネクトなどの光エレクトロニクス分野におけるキーデバイスとして大きな注目を集めている。

#### 【0005】

このような面発光型半導体レーザの特徴として、以下のものが挙げられる。

#### 【0006】

すなわち、端面発光型半導体レーザに比べて、しきい値が低い、消費電力が低い、発光効率が高い、高速変調が可能である、ビーム広がり小さく光ファイバとの結合が容易である、端面へき開が不要であるため量産性に優れる、等々多数の利点を有している。

#### 【0007】

このような面発光型半導体レーザでは、発光領域に電流を集中させるための「電流狭窄部」が必要である。この電流狭窄部を形成する方法としては、主にプロトン（水素イオン）注入方式および選択酸化方式の2つの方式が用いられている（例えば、特許文献1乃至3参照）。

#### 【0008】

##### 【特許文献1】

特開平9-266350号公報

##### 【特許文献2】

特開2000-332355号公報

##### 【特許文献3】

特開2001-93897号公報

#### 【0009】

プロトン注入方式の場合、プロトンを注入した領域が高抵抗化されることにより電流狭窄部を形成することができる。この際に、いわゆる「サーマルレンズ効果」により、電流通過領域とその周辺領域との間に僅かな屈折率差が生じ、弱い光閉じ込め状態が形成される。プロトン注入方式は、この弱い光閉じ込めにより、非プロトン注入領域（電流狭窄領域）の径を10  $\mu$ m程度に広げても安定な横モードが得られるという特徴を有する。



## 【0010】

一方、選択酸化方式の場合、活性層近傍の半導体多層膜の一部を選択的に酸化することによって、光と電流を同時に微小領域に狭窄するという2重の閉じ込め効果が得られる。また、屈折率導波路が形成されるため、選択酸化方式では強い光閉じ込め効果が生ずる。このため、横モードを安定化するには、発光領域の径を典型的には $5\mu\text{m}$ 以下と、プロトン注入方式に比べて狭くする必要がある。すなわち、選択酸化方式の場合は、横モード制御を図るために、電流狭窄径の微細化を必要とする。

## 【0011】

しかしながら、発光領域径を $5\mu\text{m}$ 以下に形成することは、プロセス的には不可能ではないものの、発光領域径の寸法および形状の制御性、再現性に問題があり、量産性、歩留まりの向上が難しいという課題があった。

## 【0012】

以下に、選択酸化方式の面発光型半導体レーザの製作方法を簡単に説明し、問題となる発光領域径の寸法および形状制御性、再現性について説明する。

## 【0013】

まず、半導体基板上に、半導体多層膜反射鏡、クラッド層、半導体活性層、クラッド層、半導体多層膜反射鏡、コンタクト層を順次成長し、レーザウエーハを作製する。このとき半導体多層膜反射鏡は、例えば $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 膜/ $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ 膜の繰り返し積層構造、また被酸化層として半導体多層膜反射鏡を構成する膜よりAl組成比の大きい $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x > 0.95$ ) 膜を有している。

## 【0014】

次に、エッチングによりメサ部を形成し、水蒸気雰囲気中で基板を $400^\circ\text{C}$ 以上に加熱する。こうすることで、半導体多層膜反射鏡を構成する半導体膜のうちAl組成比が高い $\text{AlGaAs}$ 膜がメサ部の側面の露出部分から選択的に酸化されて、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{O}_y$ 膜になる。その酸化速度は、Alの組成により著しく変化する。例えば $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ として、 $x = 0.95 \sim 1$ とすることで、クラッド層やGaAs層にはほとんど影響を与えずに、Al高濃度層のみを

選択的に酸化することができる。

#### 【0015】

この横方向の選択酸化工程によって、メサの側面から被酸化層の酸化が進み、メサ外周領域には酸化された電流狭窄部、メサ中心領域には、酸化されない領域すなわち開口部が形成される。そして、熱処理の温度と時間を適宜調整することにより、Alを高濃度を含む被酸化層のうちの酸化されない開口部の形状及び大きさを制御することができる。

#### 【0016】

以上説明したように、選択酸化方式により面発光型半導体レーザを形成する場合は、メサ部を形成して、メサ部の側壁からAlを高濃度を含むAlAs層或いはAlGaAs層を選択的に酸化することによって電流狭窄構造を作製する。

#### 【0017】

しかしながら、水蒸気酸化による選択酸化プロセスにおいては、基板温度、酸化層の膜厚、Al組成、水蒸気の流量、窒素ガスの流量などによって酸化速度が決定され、そのプロセスの条件変化に対して酸化速度は大きく影響を受ける。このため、Alを高濃度を含むAlAs層或いはAlGaAs層を選択酸化する場合に、非酸化領域（開口部）の寸法や形状を再現性良く制御することが難しいという問題がある。

#### 【0018】

この問題を解決するために、従来酸化プロセス時に被酸化領域の広がりを実タイムに計測し、制御性を高めようとする試みが図られている。例えば、非特許文献1には、AlAs層とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>酸化層の屈折率差、反射率差を利用して、実際の素子部分の像をCCDカメラにより観察する方法が開示されている。

#### 【0019】

##### 【非特許文献1】

Wright State Univ., IEEE Photon Technol. Lett. 10, p.197(1998)

#### 【0020】

また、前述した特許文献3には、被酸化層の反射率の変化を計測しフィードバック制御する方法が開示されている。

## 【0021】

しかしながら、これらの手法を用いても、半導体基板の全域にわたって素子の計測や寸法、形状を制御することは難しく、特に電流狭窄部の寸法を  $10\ \mu\text{m}$  以下に形成する場合、酸化速度がプロセス条件に敏感に反応することに加え、以下に説明する「異方性酸化」が生じることから高精度な制御は極めて困難であることが分かった。

## 【0022】

すなわち、Alを高濃度を含むAlAs層やAlGaAs層を選択酸化層として用いるとき、例えば $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x > 0.94$ ) 層では、 $\langle 100 \rangle$  軸方向の酸化は $\langle 110 \rangle$  軸方向よりも酸化速度が速い。このように面方位に対して酸化速度が異なるため、選択酸化プロセスにおいて非酸化領域の形状が酸化時間に対して変化する問題がある。この点については、後に具体例を挙げてさらに詳細に説明する。

## 【0023】

また一方、選択酸化方式の面発光レーザにおいて、AlAsまたはAlを高濃度を含むAlGaAs層を水蒸気酸化すると、被酸化層の体積が収縮し、上下の層に歪が入るという問題がある。酸化層 $\text{Al}_x(\text{Ga})\text{O}_y$ は、もとのAl(Ga)As層に比べ体積収縮(7%~13%程度)が生じるため、酸化後、活性層やメサ構造の中心部に対して圧縮応力が印加される。電流狭窄を効果的に行うには、電流ブロック層となる被酸化層には、ある程度の厚さが必要であるが、この層が厚いほど歪が大きくなる。そして、その歪は酸化層の先端に集中するが、被酸化層は、活性層から $0.2\ \mu\text{m}$ 程度の至近距離に設けられるため、この歪が活性層の最も電流の集中する領域に影響を与え、素子の寿命の低下をもたらす。

## 【0024】

特に、選択酸化プロセス後の熱プロセスに対しての耐性は低下する。従って、従来の選択酸化方式の面発光レーザでは、Al高濃度層(被酸化層)の酸化に伴う体積収縮によって、活性層、メサ構造中心部へ圧縮応力が印加され、素子の信頼性、寿命の低下、熱耐性の劣化が生じるという問題があった。

## 【0025】

**【発明が解決しようとする課題】**

以上、説明したように、従来の選択酸化方式の面発光型半導体レーザは、発光領域となる非酸化領域の寸法および形状を高精度に制御することが難しく、発振しきい値、光出力などのレーザ特性のばらつきが生じ易いという問題がある。

**【0026】**

さらに、選択酸化方式の面発光レーザにおいて、AlAs または Al を高濃度に含む AlGaAs 層を水蒸気酸化すると、被酸化層の体積が収縮し、上下の層に歪が入り、素子の信頼性、寿命の低下、熱耐性の劣化が生じるという問題がある。

**【0027】**

本発明は、これらの問題点に鑑みてなされたものであり、選択酸化における酸化長及び電流狭窄（非酸化）領域の寸法および形状の制御性を高めることにより、基板面内の均一性及び再現性を向上し、レーザ特性の素子間のバラツキを抑制した、量産性の高い、高性能な面発光型半導体レーザを提供することを目的とする。

**【0028】**

また、選択酸化プロセスなどの熱プロセスにおいて、活性層およびメサ構造中心部に印加される圧縮応力を緩和し、界面での亀裂や破損を抑制し、熱プロセスに対しての耐性を高め、素子の信頼性の向上、長寿命化を図ることを目的とする。

**【0029】****【課題を解決するための手段】**

上記目的を達成するため、本発明の第1の面発光型半導体レーザは、被酸化層を含むメサの側面から前記被酸化層の酸化を進行させて形成した酸化領域を設けることにより前記被酸化層の酸化されていない部分に電流を狭窄させる面発光型半導体レーザであって、

前記被酸化層は、前記酸化されていない部分を実質的に取り囲む位置に、プロトンが注入されたプロトン含有領域を有することを特徴とする。

**【0030】**

上記構成によれば、プロトン含有領域によって酸化されていない部分を精密に規定することができ、選択酸化における酸化長及び電流狭窄（非酸化）領域の寸法および形状の制御性を高めることにより、基板面内の均一性及び再現性を向上し、レーザ特性の素子間のバラツキを抑制した、量産性の高い、高性能な面発光型半導体レーザを提供することができる。

#### 【0031】

また、本発明の第2の面発光型半導体レーザは、第1及び第2の反射鏡と、前記第1及び第2の反射鏡の間に設けられた活性層と、酸化されていない部分と、前記酸化されていない部分の周りに設けられ酸化された酸化領域と、を有する被酸化層と、を備え、前記酸化されていない部分に電流を狭窄し、前記第1及び第2の反射鏡の間でレーザ発振する面発光型半導体レーザであって、

前記被酸化層は、前記酸化されていない部分を実質的に取り囲む位置に、プロトンが注入されたプロトン含有領域を有することを特徴とする。

#### 【0032】

上記構成によっても、プロトン含有領域によって酸化されていない部分を精密に規定することができ、選択酸化における酸化長及び電流狭窄（非酸化）領域の寸法および形状の制御性を高めることにより、基板面内の均一性及び再現性を向上し、レーザ特性の素子間のバラツキを抑制した、量産性の高い、高性能な面発光型半導体レーザを提供することができる。

#### 【0033】

また、本発明の第3の面発光型半導体レーザは、基板と、前記基板の上に設けられ発光領域を有する活性層と、前記活性層を挟持し、前記基板に対して垂直方向の共振器を構成する第1及び第2の半導体多層膜反射鏡と、前記活性層に電流を注入するための一対の電極と、前記活性層の上または下に設けられた被酸化層と、を備え、

前記被酸化層を含むメサが形成され、前記被酸化層は、前記メサの側面から前記発光領域の近傍に至る抵抗の高い酸化領域と、前記酸化領域に囲まれ抵抗の低い酸化されていない部分と、前記酸化されていない部分を実質的に取り囲む位置に設けられプロトンが注入されたプロトン含有領域と、を有することを特徴とす

る。

#### 【0034】

上記構成によっても、プロトン含有領域によって酸化されていない部分を精密に規定することができ、選択酸化における酸化長及び電流狭窄（非酸化）領域の寸法および形状の制御性を高めることにより、基板面内の均一性及び再現性を向上し、レーザ特性の素子間のバラツキを抑制した、量産性の高い、高性能な面発光型半導体レーザを提供することができる。

#### 【0035】

ここで、上記第3の面発光型半導体レーザにおいて、前記プロトン含有領域は、前記酸化領域と前記酸化されていない部分との境界付近に選択的に設けられ、前記酸化されていない部分の中央付近には設けられておらず、前記一对の電極のうちで前記活性層の上に設けられた電極は、前記活性層から放出される光を外部に放出するための開口を有し、前記開口は、前記酸化されていない部分のうちで前記プロトン含有領域よりも内側の部分よりも大なるものとすれば、開口を介した光の取り出しを向上できる。

#### 【0036】

また、上記第1乃至第3の面発光型半導体レーザにおいて、前記プロトン含有領域は、前記酸化領域と前記酸化されていない部分との境界付近に選択的に設けられ、前記酸化されていない部分の中央付近には設けられていないものとすることもできる。

#### 【0037】

また、前記プロトン含有領域は、前記酸化されていない部分の全体に亘って設けられたものとしてもよい。

#### 【0038】

また、前記プロトン含有領域におけるプロトンの濃度は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下であるものとするれば、抵抗率の増大を抑制しつつ、酸化の進行を阻止することが容易である。

#### 【0039】

また、前記活性層に対して膜面に沿った方向に引っ張り応力を与える膜をさら

に備えたものとしてもよい。

#### 【0040】

一方、本発明の面発光型半導体レーザの製造方法は、被酸化層の一部を酸化させて形成した酸化領域を設けることにより前記被酸化層の酸化されていない部分に電流を狭窄させる面発光型半導体レーザの製造方法であって、

前記被酸化層にプロトンを選択的に導入してプロトン含有部を形成する工程と

前記被酸化層の端部から前記プロトン含有部に至るまで酸化を進行させることにより前記酸化領域を形成する工程と、

を備えたことを特徴とする。

#### 【0041】

上記構成によれば、プロトン含有部によって酸化されていない部分を精密に規定することができ、選択酸化における酸化長及び電流狭窄（非酸化）領域の寸法および形状の制御性を高めることにより、基板面内の均一性及び再現性を向上し、レーザ特性の素子間のバラツキを抑制した、量産性の高い、高性能な面発光型半導体レーザの製造方法を提供することができる。

#### 【0042】

ここで、前記プロトン含有領域におけるプロトンの濃度は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以下であるものとすれば、抵抗率の増大を抑制しつつ酸化の進行を効果的に阻止できる。

#### 【0043】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しつつ、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

#### 【0044】

##### （第1の実施の形態）

図1は、本発明の第1の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザの構造を表す模式図であり、(a)はその平面図、(b)は(a)のA-A'線断面図であり、(c)は、(b)の電流狭窄部14付近を拡大した断面図である。

#### 【0045】

この面発光型半導体レーザは、基板 1 の上に形成された、発光領域 13 を有する半導体活性層 4 と、半導体活性層 4 を挟持し基板 1 に対して垂直方向の共振器を形成する半導体活性層 4 から見て基板 1 とは反対側に形成された第 1 の半導体多層膜反射鏡 6 と、半導体活性層 4 から見て基板 1 の側に形成された第 2 の半導体多層膜反射鏡 2 と、を有する。半導体活性層 4 の上下には、半導体クラッド層 3 と半導体クラッド層 5 が形成されている。

#### 【0046】

半導体多層膜反射鏡 2、6 は、屈折率が異なる複数種類の半導体層を交互に積層させた構造を有する。それぞれの半導体層は、レーザ光の波長に対して光学波長が  $1/4$  の厚みを有する。このような多層膜反射鏡は、例えば、DBR (distributed bragg reflector) と称される。

#### 【0047】

第 1 の半導体多層膜反射鏡 6 の上には、コンタクト層 7 が形成され、これらを介して発光領域 13 に電流を注入するためのコンタクト電極 9 が形成されている。また、コンタクト電極 9 は、発光領域 13 上を開口するように形成されている。

#### 【0048】

基板 1 の裏面側には、電極 10 が形成され、第 2 の半導体多層膜反射鏡 2 を介して、発光領域 13 に電流を注入するようにされている。

#### 【0049】

第 1 の半導体多層膜反射鏡 6、半導体活性層 4、半導体クラッド層 3 及び半導体クラッド層 5 は、凸状のメサ部 100 を形成している。第 1 の半導体多層膜反射鏡 6 と半導体活性層 4 とを含むメサ部 100 の周辺には、メサ形成用のエッチング領域 12 が設けられている。

#### 【0050】

第 1 の半導体多層膜反射鏡 6 を構成する半導体層のいずれかは、アルミニウム (Al) を高濃度に含む被酸化層 6a とされている。被酸化層 6a は、メサ部 100 の側壁から発光領域 13 に向かって横方向に酸化されて形成された酸化領域 600 を有し、この内側が電流狭窄部 14 とされている。そして、酸化領域 60



0の先端部には、プロトン注入領域15が形成されている。プロトン注入領域15は、被酸化層6aの酸化速度を低下させ、電流狭窄部14の開口形状を制御する役割を有する。このようにして形成された電流狭窄部14により、発光領域13への電流を絞り込むことができる。

#### 【0051】

なお、図1においては、被酸化層6aを3層設けた場合を例示したが、本発明はこれには限定されず、被酸化層6aは1層のみでもよく、または2層あるいは4層以上設けてもよい。

#### 【0052】

メサ形成用のエッチング領域12の表面にはポリイミド11が形成され、この上にボンディングパッド17が形成されている。ボンディングパッド17は、配線9aによってコンタクト電極9と接続されている。

#### 【0053】

本実施形態の面発光型半導体レーザは、プロトン注入領域15を有するので、メサ部100の側壁から発光領域13に向かって被酸化層6aを横方向に酸化する際に、被酸化層6aのうちでプロトンが注入された部分16において酸化速度をプロトン濃度に比例して大きく減速することができる。

#### 【0054】

図2は、本実施形態において被酸化層6aを酸化する工程を表した工程断面図である。すなわち、同図(a)に表したように、被酸化層6aの端面はメサの側面に露出し、またメサ内部においてはプロトンが打ち込まれたプロトン注入領域15が形成され、被酸化層6aにもプロトンが導入された部分16が設けられている。

#### 【0055】

この状態で、図2(b)に表したように、メサ側面に露出している被酸化層6aの端面から酸化を進行させると、酸化領域600が同図に矢印で表した方向に広がる。

#### 【0056】

そして、図2(c)に表したように、酸化領域600がプロトン注入領域15

にさしかかると、酸化速度が低下し、酸化領域 600 の先端をこの領域 15 内に停止させることが容易にできる。後に詳述するように、本発明においては、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  程度の比較的低濃度のプロトンの存在によって、酸化速度を 5 分の 1 程度まで減速させることができる。このため、プロトン注入領域において酸化を停止させることが容易となる。

#### 【0057】

その結果として、メサ部 100 の側壁から被酸化層 6a を酸化し電流狭窄部 14 を形成する際に、発光領域 13 の寸法および形状を精密に制御することができる。また、同一ウェーハ上に形成した複数の素子間で電流狭窄部 14 の寸法の「バラツキ」を抑制することができ、かつ異方性酸化による電流狭窄部 14 の形状の歪化を抑制することも可能となる。

#### 【0058】

これらのことから、選択酸化方式の面発光型半導体レーザの作製において、出射ビームパターンの寸法および形状の制御性、均一性、再現性が高まり、発振しきい値、光出力、横モード制御など、レーザ特性についても、素子間のばらつきが抑えられ、高性能な面発光型半導体レーザ素子を高い歩留まりで量産することができる。

#### 【0059】

図 3 は、Al を高濃度に含む AlGaAs 層を水蒸気酸化したときの酸化時間に対する酸化長の変化を表すグラフ図である。ここで、「酸化長」とは、水蒸気雰囲気に出露された AlGaAs の端面から測定した酸化部分の長さをいうものとする。同図から、酸化速度の再現性は、プラスマイナス 10 % 前後の誤差を含み、現状の酸化プロセスでは、再現性良く高精度に制御することは困難であることがわかる。

#### 【0060】

例えば、メサ 100 を  $45 \mu\text{m}$  角、電流狭窄部 14 の開口を  $5 \mu\text{m}$  角の形状とする面発光型半導体レーザを作製する場合、側壁からの被酸化層 6a の酸化長は、 $20 \mu\text{m}$  に設定される。被酸化層 6a の酸化速度の再現性には、通常は、およそプラスマイナス 10 % 程度の「バラツキ」が生ずる。このとき、プロトン注入

領域 15 を持たない選択酸化プロセス工程の場合、酸化長は  $20\ \mu\text{m}$  プラスマイナス  $2\ \mu\text{m}$  (すなわち、 $18\ \mu\text{m} \sim 22\ \mu\text{m}$ ) となる。したがって、電流狭窄部 14 (開口部) の寸法は、 $(\text{メサ寸法 } 45) - 2 \times (\text{酸化長 } 20 \text{ プラスマイナス } 2) = 5 \text{ プラスマイナス } 4\ \mu\text{m}$  となり、電流狭窄部 14 の寸法精度は、目標値に対してプラスマイナス 80% も変動することになる。このように、所望の電流狭窄部 14 の寸法 (ビーム寸法) が  $10\ \mu\text{m}$  以下になると、目標値に対する実際の寸法の変動率は非常に大きくなってしまう。

#### 【0061】

これに対して、本実施形態の面発光型半導体レーザでは、プロトン注入領域 15 を有するので、メサ部 100 の側壁から発光領域 13 に向かって横方向に被酸化層 6a が選択酸化される際、プロトンが注入された部分 16 において、被酸化層 6a の酸化速度は含有プロトン濃度にほぼ比例して大きく減速される。

#### 【0062】

図 4 (a) は、Al を高濃度を含む AlGaAs 層を水蒸気酸化したときの含有プロトン濃度に対する酸化速度の依存性を表すグラフ図である。すなわち、同図の横軸は、AlGaAs 層に含有されるプロトン濃度を表し、縦軸は、プロトンを含有しない場合の酸化速度を「1」とした時の相対的な酸化速度を表す。

#### 【0063】

図 4 (a) から、Al を高濃度を含む AlGaAs 層の酸化速度は、プロトンを  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  程度の濃度になるように導入することにより、約 20 パーセント程度の速度まで大きく減速できることが分かる。

#### 【0064】

従来、プロトンを打ち込むことにより、半導体層を高抵抗化させる技術が用いられている。高抵抗化させるためには、典型的には、ドーズ量で  $1 \times 10^{15} / \text{cm}^2$  程度のプロトンを打ち込む必要がある。これは、濃度に換算すると、 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  に近い濃度となる。

#### 【0065】

これに対して、本発明によれば、その  $1/10$  乃至  $1/100$  程度の量のプロトンにより、半導体層の酸化を十分に減速させることができる。すなわち、後に

具体例として挙げるように、 $5 \times 10^{13} / \text{cm}^2$  程度のドーズ量で、プロトンの濃度を  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  とすることができ、半導体層の酸化を十分に減速させることができる。

#### 【0066】

つまり、本発明によれば、半導体層を高抵抗化させずに酸化速度を低下させることができる。従って、レーザの活性領域全体にプロトンを打ち込むことも可能である。

#### 【0067】

図5は、レーザの電流狭窄部14の全体にプロトンを導入した具体例を表す模式図である。すなわち、同図(a)はその要部平面図、同図(b)はその一部拡大図、同図(c)及び(d)は、それぞれ(a)及び(b)のA-A'線断面図である。

#### 【0068】

本具体例においては、プロトン注入領域15が電流狭窄部14の全体を覆うように設けられている。プロトンの注入量を適宜調節すれば、電流狭窄部14の抵抗をあまり高くすることなく、酸化の進行を阻止して所定の電流狭窄構造を精密に形成することが可能である。

#### 【0069】

図4(b)は、Al(Ga)As層の酸化時間に対する酸化長の変化の再現性を本実施形態の場合と従来例(図3)と併せて表したグラフ図である。

#### 【0070】

本実施形態では、被酸化層6aであるAlGaAs層のプロトン注入部分16で酸化の進行が抑制されることにより、酸化長の目標値からの変動はプラスマイナス  $2 \mu\text{m}$  からプラスマイナス  $0.8 \mu\text{m}$  へと半分以下に抑制できることが分かる。

#### 【0071】

図6は、プロトン注入領域が設けられた面発光型半導体レーザの一例を表す模式図である。すなわち、同図(a)はその要部平面図、同図(b)はその一部拡大図、同図(c)及び(d)は、それぞれ(a)及び(b)のA-A'線断面図

である。

#### 【0072】

図6に表したように、 $4\mu\text{m}$ 角から $6\mu\text{m}$ 角までの間の $2\mu\text{m}$ 幅の領域にプロトン注入を行い、 $4\mu\text{m}$ 角から $6\mu\text{m}$ 角内での被酸化層6a、Al(Ga)As層に注入されるプロトン濃度を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ とする。また、酸化速度の再現性は、通常のプラスマイナス10%内の精度であるとする、電流狭窄部14の所望寸法となる領域に形成されたプロトン注入領域15(16)により、酸化の進行が抑制され、結果として酸化長は、 $20$ プラスマイナス $0.8\mu\text{m}$ (すなわち、 $19.2\mu\text{m} \sim 20.8\mu\text{m}$ )の精度で再現する。すなわち、電流狭窄部14の開口径は、(メサ径 $45\mu\text{m}$ ) - (酸化長 $20$ プラスマイナス $0.8\mu\text{m}$ ) =  $5$ プラスマイナス $1.6\mu\text{m}$ となる。

#### 【0073】

このとき、目標値に対する変動率は、プラスマイナス32%に収まることになり、従来の80%に比べ、約50%の改善が図れ、電流狭窄部の寸法の制御性が大きく改善されることがわかる。

#### 【0074】

また、本発明は、目標値に対する寸法の変動率が大きくなる $10\mu\text{m}$ 以下の場合、電流狭窄部14の開口径の制御性、再現性、均一性の向上を図る上で非常に効果的となる。電流狭窄径を $10\mu\text{m}$ 以下に縮小することにより、2重の閉じ込め効果が得られ、極めて低いしきい値電流動作(サブmA)など高性能化が可能となる。

#### 【0075】

一方、本実施形態によれば、異方性酸化による形状の歪みも補正できる。

#### 【0076】

図7は、プロトン注入領域15を設けずに円柱状のメサ100の被酸化層をその側面から酸化したときの酸化領域600及び電流狭窄部14の形状の酸化時間に対する変化、異方性酸化の様子を例示した断面図である。なお、図中符号12はメサ周囲の基板部を表す。

#### 【0077】

酸化時間の増加にともない、酸化領域 21 は広がっていくが、このとき a 及び b で表した方向においては酸化速度が遅く、非酸化領域 14 は、a 及び b で表した方向を頂角とするひし形状になっていく様子が分かる。また、このひし形は、酸化時間が長くなると縦横の差が拡大していくことも分かる。

#### 【0078】

このように酸化領域の寸法や発光領域となる形状を制御することは、選択酸化方式では難しく、発光領域（非酸化領域あるいは電流狭窄部あるいは出射ビーム）寸法および形状、横モード制御が難しく、また発振しきい値、光出力などのレーザ特性の「ばらつき」が生じ易いという問題がある。

#### 【0079】

これに対して、本実施形態によれば、面方位の酸化速度に応じて、プロトン注入領域 15 のパターン寸法や配置を工夫することにより補正できる。上記具体例と同様のメサ寸法  $4.5\ \mu\text{m}$  角で、 $5\ \mu\text{m}$  角の電流狭窄部 14 を選択酸化により形成する場合には、図 8 (a) 乃至 (d) に表したように、プロトン注入領域 15 の幅を、酸化速度の速い方位に対しては  $4\ \mu\text{m} \sim 6\ \mu\text{m}$  の  $2\ \mu\text{m}$  幅とし、酸化速度の遅い方位に対しては  $5\ \mu\text{m} \sim 6\ \mu\text{m}$  の  $1\ \mu\text{m}$  幅とすればよい。すなわち、プロトン注入領域 15 のパターン幅を、異方性酸化速度に合わせて設定する。

#### 【0080】

このとき、被酸化層 6 a すなわち Al (Ga) As 層に注入されるプロトン濃度を  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  となるようにイオン注入を行ったものに、選択酸化プロセスを施したとき、従来例よりも電流狭窄部 14 の異方性は緩和され、所望の正方形の形状および寸法の電流狭窄部 14 が得られる。より具体的には、プロトン注入領域 15 のパターンを調節することにより、異方性酸化による電流狭窄部 14 の形状の歪みは、従来法では縦と横で  $0.7\ \mu\text{m}$  の寸法差を生じていたものが、本実施形態においては  $0.1\ \mu\text{m}$  に低減された。

#### 【0081】

また、基板 1 として、通常の (100) 面などの面方位の基板から任意の角度傾斜させた傾斜基板 1 を用いた場合、異方性酸化による形状の歪みはさらに顕著になる。例えば、円形のメサ構造では、図 9 (a) に表したように開口部（電流

狭窄部 14) の形状は、歪んだひし形になる（ここでの傾斜角は、例えば  $10^\circ$  程度である）。

#### 【0082】

これに対して、本実施形態においては、まず、傾斜基板における各面方位の酸化速度を求め、所望の寸法および形状が得られるようにプロトン注入領域 15 のパターンを決定することができる。

#### 【0083】

図 9 (b) は、傾斜基板を用いた場合のプロトン注入領域 15 のパターンを例示する平面図である。このパターンを用いて、被酸化層 6 a のプロトン注入部分 16 に所望の濃度が得られる条件でイオン注入処理後、メサ側面から選択酸化プロセスを行う。その結果として、図 9 (c) に表したように、所望の正方形の形状および寸法の電流狭窄部 14 が得られる。例えば、従来例 (図 9 (a)) においては縦と横で約  $1.1 \mu\text{m}$  の寸法差を生じていたものが、本実施形態 (図 9 (c)) においては縦と横の寸法差を  $0.1 \mu\text{m}$  にまで低減できる。

#### 【0084】

このとき酸化速度の制御性を高くするためには、被酸化層 6 a のプロトン注入部分 16 のプロトン濃度および寸法について、濃度  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上の領域を幅  $1 \sim 10 \mu\text{m}$  に亘って設けることが好適であり、また酸化時間および素子抵抗を増大させないためにも好適な条件となることが分かった。

#### 【0085】

次に、図 1 に表した本実施形態の面発光型半導体レーザの製造方法について、具体的に説明する。

#### 【0086】

はず、洗浄された厚さ  $400 \mu\text{m}$  の直径 3 インチ、面方位 (100) の n 型 GaAs 基板 1 の上に、MOCVD 装置を用いて n 型の半導体多層膜反射鏡 2、クラッド層 3、半導体活性層 4、クラッド層 5、電流狭窄部 14 となる被酸化層 6 a、p 型の半導体多層膜反射鏡 6、コンタクト層 7 を順次成長する。

#### 【0087】

一例として、半導体活性層 4 とクラッド層 3 及び 5 よりなる共振器の上下に半

導体多層膜反射鏡 2 及び 6 を配置したものを基本構造とし、 $1.3\mu\text{m}$  帯の  $\text{GaInNAs}$  面発光型半導体レーザを形成する具体例について説明する。

#### 【0088】

この場合には、半導体多層膜反射鏡 2 は、波長  $1.3\mu\text{m}$  の光学波長  $1/4$  の厚さで  $n$  型  $\text{GaAs}$  層（高屈折率層）と  $n$  型  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 < y < 1$ )（低屈折率層）が交互に積層された構造とする。本具体例では、 $\text{Al}$  組成  $y = 0.94$  の  $\text{Al}_{0.94}\text{Ga}_{0.06}\text{As}$  層を低屈折率層として用いることができる。

#### 【0089】

また、半導体多層膜反射鏡 2 の  $n$  型ドーパントとして、シリコン ( $\text{Si}$ ) を用い、ドーパント濃度は、 $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  とすることができる。クラッド層 3 は  $n$  型  $\text{GaInP}$  とする。

#### 【0090】

半導体活性層 4 は、発光ピーク波長が  $1.3\mu\text{m}$  となるように調整した  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{N}_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y < 1$ ) 層と、バリヤ層として  $\text{GaAs}$  層を交互に積層した量子井戸構造とする。ここでは、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{N}_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y < 1$ ) 層を中心とし、その上下に  $\text{GaAs}$  層を積層した 3 層構造とする。量子井戸層である  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{N}_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y < 1$ ) 層の  $\text{In}$  組成は  $30\% \sim 35\%$ 、窒素 ( $\text{N}$ ) 組成は  $0.5\% \sim 1.0\%$  とし、厚さは  $7\text{nm}$  とする。

#### 【0091】

この  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{N}_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y < 1$ ) 層の格子定数は、 $n$  型  $\text{GaAs}$  基板 1 よりも大きくなるようように組成を制御し、約  $2.5\%$  の圧縮歪を内在する組成  $\text{Ga}_{0.66}\text{In}_{0.34}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$  とする。このように歪を導入すると、レーザの微分利得係数が増大し、無歪の場合に比較して、しきい電流値を一層低減することができる。

#### 【0092】

クラッド層 5 は、 $p$  型  $\text{GaInP}$  とする。また、半導体多層膜反射鏡 6 は、波長  $1.3\mu\text{m}$  の光学波長  $1/4$  の厚さで  $p$  型  $\text{GaAs}$  層（高屈折率層）と  $p$  型  $\text{Al}$



$1-y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 < y < 1$ ) (低屈折率層) が交互に積層された構造とすることができる。n型半導体多層膜反射鏡2と同様に、Al組成  $y = 0.94$  の  $\text{Al}_{0.94}\text{Ga}_{0.06}\text{As}$  層を低屈折率層に用いることができる。

#### 【0093】

また、半導体多層膜反射鏡6のp型ドーパントとしては、炭素(C)を用い、そのドーパント濃度は、 $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  (量子井戸層3付近)  $\sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  (コンタクト層7付近) というように、深さ方向に変化させる。

#### 【0094】

被酸化層6aは、半導体多層膜反射鏡6を構成するAlGaAs層のうちのいずれか1層または複数の層のAl組成比  $x$  をより大きくすることにより形成する。具体的には、被酸化層6aとしては、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x > 0.98$ ) を用いることができる。本具体例においては、AlAs層を用いる。コンタクト層7はp型GaAsとし、p型ドーパントとして、C(炭素)を用い、ドーパント濃度は、 $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  とした。

#### 【0095】

次に、フォトリソグラフィとエッチング工程によりn型半導体多層膜反射鏡2の上部までエッチングを行い、メサ100を形成する。具体的には、例えば、ICP (Inductively Coupled Plasma) プラズマドライエッチング装置により、三塩化ボロン・窒素混合ガスによるエッチング処理を行う。このとき、アンテナ出力、バイアス出力、基板温度を調整することで、異方性エッチングが生じる条件によりメサ100を形成する。ここでは、電流狭窄部14を  $5 \mu\text{m}$  角の形状とする面発光型半導体レーザの作製を行うため、 $45 \mu\text{m}$  角のメサ100が得られるように、垂直にエッチングを行う。

#### 【0096】

次に、プロトン注入領域15を形成する。ここでは、 $\text{SiO}_2$  膜8およびレジストパターンをインプラマスクに使用し、プロトンのインプラ注入を行う。次の工程の選択酸化において、この工程で形成した被酸化層6aのプロトン注入部分16において、酸化速度はプロトン濃度に比例して大きく減速する。図4(a)に関して前述したように、基板温度  $400^\circ\text{C}$  におけるAlGaAs層6aの酸化

速度のプロトン濃度依存性を見ると、プロトン濃度が  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上では、酸化速度は  $1/3$  以下に低下する。

#### 【0097】

$1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  程度のプロトン濃度では、半導体多層膜反射鏡 6 の炭素 (C) のドーピング濃度に比べて低く、注入領域は殆ど高抵抗化しない。つまり、プロトンが注入された部分においてプロトンの濃度を所定の範囲に制御すれば、被酸化層 6 a の酸化速度を制御でき、かつ素子抵抗は高くはない。また、プロトン注入工程では、加速電圧により、プロトンの侵入深さ、分布の制御、またドーズ量により、電流狭窄部 14 に重複するプロトン濃度の制御が可能である。

#### 【0098】

具体的には、被酸化層 6 a、AlAs 層（ここでは、表面から深さ  $2.6 \mu\text{m}$  に位置する）のイオン注入領域 16 のプロトン濃度が  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  になるように、加速電圧を  $320 \text{ keV}$ 、ドーズ量を  $5 \times 10^{13} / \text{cm}^2$  としてイオン注入を行う。また、ここで、寸法および異方性酸化を制御するためのプロトン注入領域パターンを適宜用いることができる。

#### 【0099】

次に、水蒸気雰囲気中で  $400^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$  の熱処理を行い、被酸化層 6 a をメサ 100 の側面から横方向に選択酸化して酸化領域 600 を形成する。このとき、プロトン注入領域 15 を有するので、メサ 100 の側壁から発光領域 13 に向かって横方向に酸化される際に、被酸化層 6 a のプロトン注入部分 16 において酸化速度はプロトン濃度に比例して大きく減速し、酸化時間を調整することで、酸化はプロトン注入領域内において停止し、所望の電流狭窄寸法および形状が得られる。

#### 【0100】

従来型の選択酸化プロセスでは、酸化速度の再現性の問題に加え、基板面内においても寸法バラツキが生じるために酸化長の寸法の均一性は悪い。これに対して、本具体例の素子について、電流狭窄寸法の面内バラツキ（3 インチウェハ面内）を評価した結果、 $3\sigma$  値は、従来型に比べ、約 40% の改善が見られ、面内

寸法バラツキに対しても、大きな効果があることが示された。また異方性酸化による形状の歪みも、縦と横の寸法差が約  $0.7\ \mu\text{m}$  から約  $0.1\ \mu\text{m}$  に低減された。

#### 【0101】

次に、ポリイミド11を用いてメサエッチング部12を埋め込み、その上に、ボンディングパッド17を形成する。次に、配線部18が形成されるべき部分と光取り出し口となるp型半導体多層膜反射鏡6上の絶縁膜8を除去し、p型GaAsコンタクト層7上にp側電極9を形成する。このときボンディングパッド17とp側電極9とをつなぐ配線18を同時に形成し、その後、基板裏面にはn側電極10を形成する。

#### 【0102】

このようにして作製した面発光型半導体レーザにおいて、波長  $1.3\ \mu\text{m}$  で活性層の圧縮歪導入の効果により低しきい電流密度 ( $1\ \text{kA}/\text{cm}^2$ ) での室温連続発振が得られ、高温での特性も良好であった。また異方性酸化により生じる非酸化領域、出射ビームパターンの形状が改善され、所望のビームパターン形状が得られた。この結果、横モードの安定化が図れた。また面内全域にわたり再現性良く、寸法および形状は均一化され、単一モード発振、しきい値、光出力等のレーザ特性も、均一化され、高性能な面発光半導体レーザ素子の量産性が向上した。特に電流狭窄部14が囲むビーム径の寸法が、目標値に対する寸法の変動率が大きくなる  $10\ \mu\text{m}$  以下の場合、寸法の制御性、再現性、均一性の向上を図る上で本発明は有効となることがわかった。

#### 【0103】

図10は、本実施形態の変形例の面発光型半導体レーザを表す模式図である。すなわち、同図は、図1(b)に対応する断面図である。

#### 【0104】

図1(b)に表した構造の場合、上部電極9の開口径が、電流狭窄部14と同等または大きく、上部電極9の先端は、プロトン注入領域15の上に設けられている。

#### 【0105】

これに対して、本変形例においては、上部電極 9 開口径が、電流狭窄径 14 よりも小さく、上部電極 9 の先端は、プロトン注入領域 15 よりも内側の発光領域の上まで延在している。このようにしても、注入したプロトン濃度は、コンタクト抵抗や電流狭窄経路の変化を与えるほど大きくないため、図 1 の構造の素子と同様に本発明の効果は得られる。

#### 【0106】

(第 2 の実施の形態)

次に、本発明の第 2 の実施の形態について説明する。

#### 【0107】

図 11 は、本発明の第 2 の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザの模式図であり、同図 (a) は平面図、(b) は (a) の A' - A 線断面図、(c) は (a) の B' - B 線断面図である。図 11 については、図 1 乃至図 10 に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

#### 【0108】

本実施形態においては、第 1 の半導体多層膜反射鏡 6 及び半導体活性層 4 を含むメサ 100 の周辺に、凹部 120 が設けられている。この凹部 120 により、メサ 100 と隔てられて周辺部 50 が形成されている。また、周辺部 50 もメサ 100 と同じ積層構造を有しており、メサ 100 の表面とこの周辺部 50 の表面とは、ほぼ同じ高さに形成されている。

#### 【0109】

周辺部 50 の上には、周辺電極 9b が形成されている。そしてコンタクト電極 9 と周辺電極 9b とは、配線部 18 によって繋がれている。また、周辺電極 9b とボンディングパッド 17 とは、配線部 9a により繋がれている。

#### 【0110】

一方、コンタクト層 7 の上には、例えばシリコン窒化膜からなる表面保護膜 8 が設けられている。

#### 【0111】

このような面発光型半導体レーザは、矢印 19 により表したように、コンタクト電極 9 から第 1 の半導体多層膜反射鏡 6 を介して発光領域 13 に電流を注入す

ることで発光する。

#### 【0112】

この面発光型半導体レーザは、コンタクト電極9とボンディングパッド17とこれらを結ぶ配線部9aとが、ほぼ同一レベルで形成されていて、平坦化処理を必要としない構造となっている。このため、配線の「段切れ」を防ぐことができるという利点を有する。

#### 【0113】

また、図11(c)に表したように、コンタクト電極9と周辺電極9bとを繋ぐ配線部18の下層に、プロトン注入により形成された高抵抗領域150を設けることにより、矢印22で表したような電流パスによる電流成分を遮断できる。したがって、この面発光型半導体レーザでは、矢印19で表した電流パスによってのみ電流を流すことができ、極めて効率よく電流狭窄することができ、低しきい値化、高速応答性、量産性の向上が可能となる。

#### 【0114】

また、この面発光型半導体レーザは、引張応力を有する膜8を設けることで、選択酸化プロセス等の熱プロセスに伴い発生する圧縮応力が、活性層やメサ構造中心部へ印加されることを緩和できる。またさらに、被酸化層6aへのプロトン注入により、酸化領域の異方性酸化形状を補正できるため、界面での亀裂や破損が抑制され、選択酸化プロセス後の熱プロセスに対しての耐性も高まり、素子の信頼性の向上、長寿命化が可能となる。

#### 【0115】

また、出射ビームパターンの寸法および形状の制御性、均一性、再現性が高まり、発振しきい値、光出力、横モード制御など、レーザ特性についても、素子間のばらつきが抑えられ、高性能な面発光型半導体レーザ素子の量産性が向上する。

#### 【0116】

次に、この面発光型半導体レーザの作製方法について具体的に説明する。

#### 【0117】

まず、GaAs基板1の上に、半導体積層構造を成長させる。その詳細は、第

1 実施形態に関して前述したものと同様にすることができる。

#### 【0118】

次に、パターン形成用のエッチングマスク膜 8 として、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜を形成する。この際に、原料ガス、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{N}_2$  の圧力、流量を調整することによって膜応力を制御し、 $150\text{MPa}$  の引張応力を有する膜として形成した。膜 8 の引張応力の値は、水蒸気酸化プロセスにおいてエッチングマスク膜 8 と  $\text{GaAs}$  基板 1 との間で発生する熱応力 (thermal stress)  $\sigma_T$  を考慮して決定する。

#### 【0119】

例えば、水蒸気酸化プロセス温度を  $420^\circ\text{C}$  に設定した場合、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜 ( $E_F = 160\text{GPa}$ ,  $\alpha_F = 2.7 \times 10^{-7}/\text{K}$ ) と基板の  $\text{GaAs}$  ( $\alpha_S = 6.0 \times 10^{-6}/\text{K}$ ) との間では、 $\sigma_T = -158\text{MPa}$  の圧縮応力が発生する。つまり、基板 1 に対して圧縮応力が印加される。そこで、この圧縮応力を緩和するために、引張応力を有する膜 8 を形成し、活性層 4 に印加される圧縮応力を緩和し、熱耐性を高める。またさらに、エッチングマスク膜 8 として、引張応力を有する膜を形成することで、Al を高濃度に含む被酸化層 6a の酸化に伴う体積収縮により印加される活性層 4、メサ構造 100 中心部への圧縮応力も緩和され、界面での亀裂や破損が抑えられ、選択酸化プロセス後の熱プロセスに対しても耐性が高まることで、素子の信頼性の向上、長寿命化が図れる。

#### 【0120】

一方、従来例で多く用いられているエッチングマスク膜の材料である  $\text{SiO}_2$  薄膜 ( $E_F = 74\text{GPa}$ ,  $\alpha_F = 0.4 \times 10^{-6}/\text{K}$ ) を用いる場合、水蒸気酸化プロセスにおいて、エッチングマスク膜 8 と  $\text{GaAs}$  基板 1 との間で発生する熱応力  $\sigma_T = -124\text{MPa}$  の圧縮応力に加え、成膜時の応力も  $-200\text{MPa}$  程度の圧縮応力を有する膜になりやすい。従って、水蒸気酸化プロセスおよびプロセス後において、活性層へ印加される圧縮応力は更に増大し、熱耐性も弱くなってしまう。

#### 【0121】

次に、プロトン注入領域 15 を形成する。ここでは、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜 8 およびレ

ジストをインプラマスクに使用し、アイソレーション用パターン150および選択酸化制御用のプロトン注入領域15を形成する。

#### 【0122】

次に、イオン注入装置により、アイソレーション用パターン部150には、加速電圧100、200、300 keV、ドーズ量それぞれ $1 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ を照射して、プロトンを注入し、高抵抗領域150を形成する。このとき、深さ0.5～2.5  $\mu\text{m}$ 域に均一にプロトンは分布し、深さ約4  $\mu\text{m}$ 付近まで高抵抗されている（本実施例では、表面から活性層までの深さは約3  $\mu\text{m}$ である）。

#### 【0123】

また、選択酸化制御用のプロトン注入領域15については、被酸化層6a、AlAs層（表面から深さ2.6  $\mu\text{m}$ ）のイオン注入領域のプロトン濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ になるように、加速電圧を320 keV、ドーズ量を $5 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ とした条件でイオン注入を行った。選択酸化制御用のプロトン注入領域15のプロトンインプラ条件では、注入領域は高抵抗されない濃度である。しかし、図4（a）に表したAl（Ga）As層の酸化速度のプロトン濃度依存性からわかるように、酸化速度は1/3以下に低下する。

#### 【0124】

したがって、選択酸化層6aの酸化速度を制御でき、かつ素子抵抗も高くはならない。また、ここで、異方性酸化を抑制するためにプロトン注入領域パターンを適宜設定してもよい。

#### 【0125】

次に、p側電極9と光取り出し口23の部分のエッチングマスク膜8を除去し、p型GaAsコンタクト層上にp側電極9、また保護膜8の上に、配線部9a、周辺電極9b、配線部18、ボンディングパッド17をパターンニング形成する。

#### 【0126】

次に、同様のフォトリソグラフィ工程によりエッチングマスク膜8にメサパターンを形成し、n型半導体多層膜反射鏡2の上部までエッチングを行い、凹部120とそれに囲まれたメサ100を形成する。メサパターンは、前述の如くIC

P (Inductively Coupled Plasma) プラズマドライエッチング装置により、三塩化ボロン・窒素混合ガスによるエッチング処理を行うことができる。

#### 【0127】

またこのとき、アンテナ出力、バイアス出力、基板温度を調整することで、異方性エッチングが生じる条件とする。ここでは、電流狭窄部14を $\phi 5 \mu\text{m}$ の円形とする面発光型半導体レーザの作製を行うため、メサ100を $\phi 45 \mu\text{m}$ の円柱形状とするエッチングを行う。

#### 【0128】

次に、水蒸気雰囲気中で $400^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ の熱処理を行い、被酸化層6aをメサ側面の露出部から横方向に選択酸化し酸化領域600を形成する。このとき、側面からの酸化長を $20 \mu\text{m}$ とし、 $5 \mu\text{m}$ 径の電流狭窄部（非酸化領域）14を形成することができる。本具体例によれば、プロトン注入部分16を設けることにより、従来方式に比べて、電流狭窄部14の面内寸法バラツキ（3インチウェーハ面内）の $3\sigma$ 値で、約40パーセントの改善が見られた。

#### 【0129】

また、異方性酸化による形状の歪みも、縦方向と横方向とで従来は $0.75 \mu\text{m}$ の寸法差が生じていたものが、本具体例においては $0.1 \mu\text{m}$ に低減された。また、本具体例においては対称性の高い酸化領域600が形成されるため、被酸化層6aの体積収縮により活性層とメサ構造中心部に印加される圧縮応力は、より等方的に印加されることになる。

#### 【0130】

次に、基板裏面にn側電極10を形成し、レーザの要部が完成する。

#### 【0131】

このようにして作製された面発光型半導体レーザは、波長 $1.3 \mu\text{m}$ で活性層4の圧縮歪導入の効果に加え、配線パス下にプロトン注入による高抵抗領域150を形成することにより、リーク電流22が阻止され、低しきい電流密度、単一モードの室温連続発振が得られ、高温での特性も良好であった。

#### 【0132】

また本実施形態における構造は、コンタクト電極9、配線部18、周辺電極9



b、配線部 9 a、ボンディング・パッド 17 がほぼ同一レベルで形成されているので、段切れがなく、且つ量産性にも優れる面発光半導体レーザを提供できるという利点も有する。

#### 【0133】

また、第 1 実施形態に関して前述したものと同様に異方性酸化により生じる電流狭窄部 14、出射ビームパターンの寸法および形状が改善され、所望のビームパターン寸法および形状が得られる。さらに、対称性の高い酸化領域が形成されるため、選択酸化プロセスにおける活性層、メサ構造中心部への圧縮応力の印加は等方的になる。また、引張応力を有する膜 (8) の形成により、圧縮応力は等方的に緩和されるので、界面での亀裂や破損が抑制され、選択酸化プロセス後の熱プロセスに対しての耐性も高まり、素子の信頼性の向上、長寿命化が可能となる。特に、歪の大きい量子井戸層  $Ga_x In_{1-x} As_y N_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、 $\leq y < 1$ ) を活性層に用いた面発光型レーザに対して、本発明の効果は大きい。

#### 【0134】

また、出射ビームパターンの寸法および形状の制御性、均一性、再現性が高まり、発振しきい値、光出力、横モード制御など、レーザ特性についても、素子間のばらつきが抑えられ、高性能な面発光型半導体レーザ素子の量産性が向上した。特に、ビーム径を  $10 \mu m$  以下とする場合、目標値に対する寸法の変動率が大きくなるが、本実施形態によれば、寸法の制御性、再現性、均一性の向上を図ることができる。

#### 【0135】

図 12 は、本実施形態に変形例の面発光型半導体レーザを表す模式図である。すなわち、同図 (a) は平面図、(b) は (a) の A' - A 線断面図、(c) は (a) の B' - B 線断面図である。図 12 については、図 1 乃至図 11 に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

#### 【0136】

本変形例においては、配線部 18 の下に空洞 200 が設けられている。すなわち、図 11 に表したレーザの場合、メサ領域外へのリーク電流 22 を阻止するた

めに、p 側電極の配線部 18 の下にプロトン注入により高抵抗領域 150 を設けた。これに対して、本変形例においては、この代わりに空洞 200 を設ける。このようにしても、横方向のリーク電流 22 を阻止できる。

#### 【0137】

この場合、水蒸気酸化プロセス後、アイソレーション用のレジストパターンを形成し、SH（硫酸と過酸化水素水の混合液）溶液処理により p 側電極の配線部 18 の下の GaAs コンタクト層 7 と上部半導体多層膜反射鏡 6 をエッチングにより除去し、空洞 200 を形成することができる。配線部 18 の下には空洞 200 を形成することにより、擬似メサ領域 100 の外側へのリーク電流 22 を完全に遮断することができる。

#### 【0138】

以上、図 1 乃至図 12 を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これら具体例に限定されるものではない。

#### 【0139】

例えば、上記具体例においては、活性層 4 として、 $Ga_x In_{1-x} As_y N_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y < 1$ ) を用いて説明したが、それに限らず、InGaAlP 系、AlGaAs 系や InGaAsP 系など、様々な材料を用いることもできる。

#### 【0140】

クラッド層 3 及び 5、半導体多層膜反射鏡 2 及び 6 も、様々な材料を用いることもできる。例えば、半導体多層膜反射鏡 2 及び 6 としては、AlGaAs 層と GaAs 層の積層構造に限らず、Al を含まない屈折率の大きい材料と小さい材料の積層構造も可能である。また、GaInP/GaAs、GaInPAs/GaAs、GaInP/GaInAs、GaInP/GaPAs、GaInP/GaInAs、GaP/GaInNAs 等の組合せを用いることができる。

#### 【0141】

また、半導体層の成長方法についても、MBE (molecular beam epitaxy) 法等を用いることもできる。また、上述の具体例では、積層構造として 3 重量子井戸構造の例を示したが、その他の量子井戸を用いた構造等を用いることもできる。

。

#### 【0142】

また、被酸化層 6 a が 1 層である場合を説明したが、複数層である場合も同様な効果を得ることができる。

#### 【0143】

また、電流狭窄部 1 4 の平面形状として、本具体例では、主に正方形とした場合を挙げたが、円や長方形、楕円などの形状においても寸法や形状制御を行えることは明らかである。

#### 【0144】

また、プロトン注入領域のパターンとして、上述の具体例では  $1 \sim 2 \mu\text{m}$  幅のパターンを形成する場合を挙げたが、所望の寸法精度やプロトン濃度に応じて、パターン幅を変えても、同様の効果が得られることは明らかである。またプロトン注入領域のパターン形状についても、所望の形状や用途に合わせて、好適なパターン形状にすることにより、大きな効果が得られる。またプロトン注入領域の表面からの深さについても、被酸化層 6 a の位置や構造や所望のプロトン濃度に合わせて、イオン注入における加速電圧やドーズ量を調整することにより、大きな効果が得られることは明らかである。

#### 【0145】

また、被酸化領域に注入するプロトン濃度についても、ここでは  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  から  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  の濃度を用いて説明したが、これよりも高濃度あるいは低濃度のプロトンを用いても、同様の効果が得られる。高濃度のプロトンを注入する場合、被酸化層 6 a の酸化速度は大きく低下し、所望の位置で酸化の進行を抑制でき、電流狭窄部 1 4 の寸法および形状の制御性はさらに高くなるため好適である。

#### 【0146】

但し、半導体多層膜反射鏡 2、6 のドーパント濃度よりも、プロトンを高濃度に注入する場合、注入領域は、高抵抗化し、電流が流れにくくなるため、選択酸化による電流狭窄部 1 4 に電流が流れやすく、絞り込まれるように、注入領域 1 5 および上部電極 9 や光取り出し部 2 3 の位置や大きさを工夫する必要がある。

## 【0147】

この点に関しては、例えば、図10に表したように、上部電極9の開口径が、電流狭窄部径14よりも小さく、プロトン打ち込み領域15よりも内側に延在させると、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ より高濃度のプロトンを導入することができる。

## 【0148】

また、上述の具体例では、被酸化層6aとして、AlAs層を用いたが、Al組成比の大きい $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x > 0.95$ )を用いても同様に、プロトン濃度に応じ、水蒸気酸化プロセスにおいて酸化速度は同程度に低下し、本発明と同様の効果が得られる。

## 【0149】

その他、当業者が適宜設計変更したすべての面発光型半導体レーザも、本発明の要旨を備える限り、本発明の範囲に包含される。

## 【0150】

## 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、選択酸化における酸化長及び電流狭窄（非酸化）領域の寸法および形状の制御性を高めることによって、基板面内の均一性及び再現性が向上し、レーザ特性の素子間のバラツキを抑制した、量産性の高い、高性能な面発光型半導体レーザを提供することができる。

## 【0151】

また、選択酸化における異方性酸化形状およびメサ部に発生する応力を補正することにより、素子の耐熱性も高まり、素子の信頼性の向上、長寿命化が可能となる。

## 【0152】

すなわち、本発明によれば、高性能で高信頼性を有する面発光型半導体レーザを量産することができ、産業上のメリットは多大である。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図1】

本発明の第1の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザの構造を表す模式図であり、(a)はその平面図、(b)は(a)のA-A'線断面図であり、(c)

) は、(b) の電流狭窄部 14 付近を拡大した断面図である。

【図 2】

本発明の実施形態において被酸化層 6a を酸化する工程を表した工程断面図である

【図 3】

Al を高濃度を含む AlGaAs 層を水蒸気酸化したときの酸化時間に対する酸化長の変化を表すグラフ図である。

【図 4】

Al を高濃度を含む AlGaAs 層を水蒸気酸化したときの含有プロトン濃度に対する酸化速度の依存性を表すグラフ図である。

【図 5】

レーザの電流狭窄部 14 の全体にプロトンを導入した具体例を表す模式図である。

【図 6】

プロトン注入領域が設けられた面発光型半導体レーザの一例を表す模式図である。

【図 7】

プロトン注入領域 15 を設けずに円柱状のメサ 100 をその側面から酸化したときの酸化領域 600 及び電流狭窄部 14 の形状の酸化時間に対する変化、異方性酸化の様子を例示した断面図である。

【図 8】

プロトン注入領域 15 のパターン幅を、異方性酸化速度に合わせて設定した例を表す模式図である。

【図 9】

(a) は、プロトン注入領域を設けない場合の電流狭窄部 14 の形状を例示する平面図であり、(b) は、傾斜基板を用いた場合のプロトン注入領域 15 のパターンを例示する平面図であり、(c) は、所望の正方形の形状および寸法の電流狭窄部 14 を表す平面図である。

【図 10】

本発明の第1実施形態の変形例の面発光型半導体レーザを表す模式図である。

【図11】

本発明の第2の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザの模式図であり、同図(a)は平面図、(b)は(a)のA'-A線断面図、(c)は(a)のB'-B線断面図である。

【図12】

第2実施形態に変形例の面発光型半導体レーザを表す模式図である。

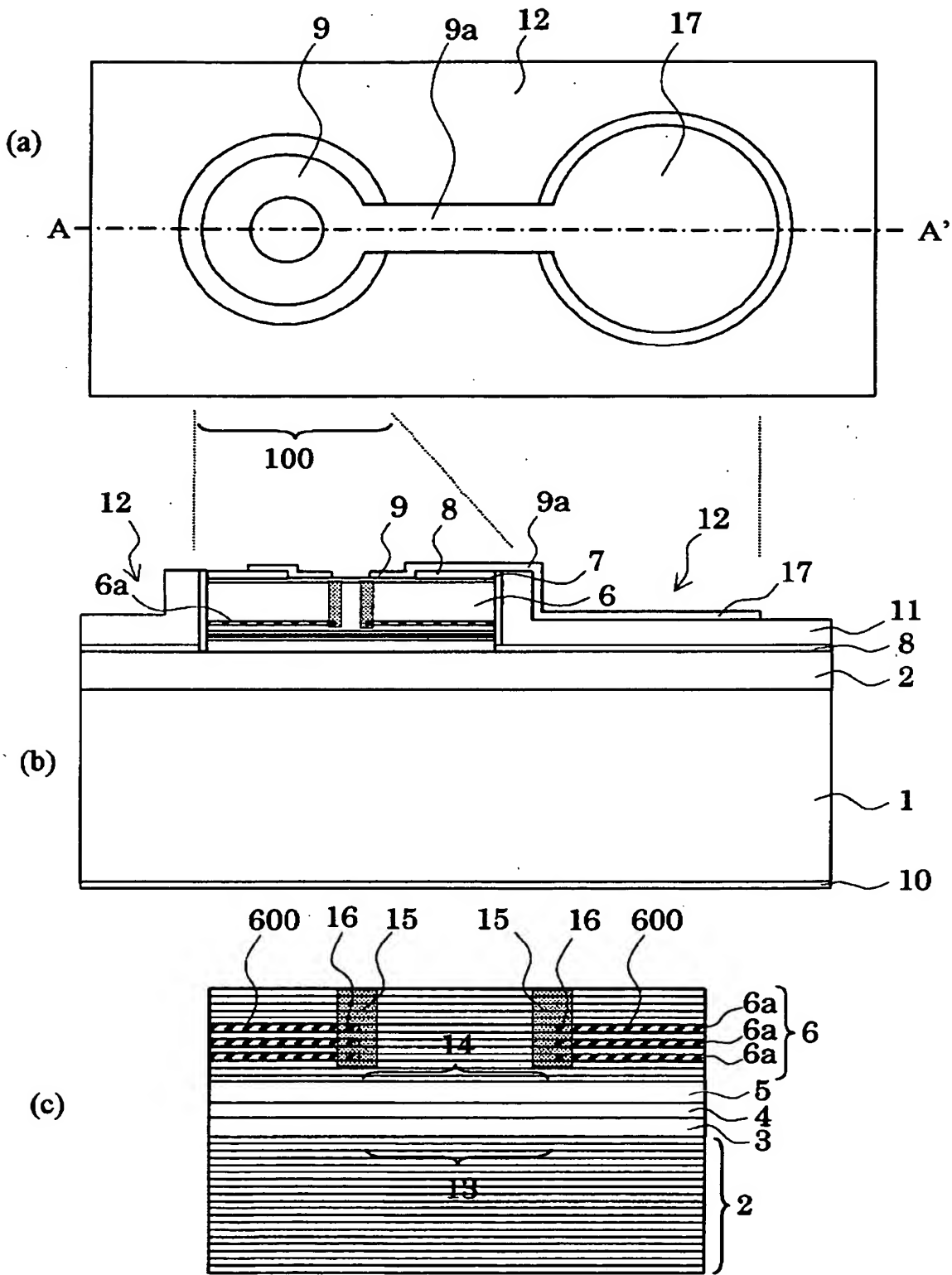
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 半導体多層膜反射鏡
- 3 クラッド層
- 4 クラッド層
- 4 活性層
- 5 クラッド層
- 6 半導体多層膜反射鏡
- 6 a 被酸化層
- 7 コンタクト層
- 8 エッチングマスク膜（保護膜）
- 9 p側電極
- 9 a 配線部
- 9 b 周辺電極
- 10 n側電極
- 11 ポリイミド
- 12 エッチング領域
- 13 発光領域
- 14 電流狭窄部
- 15 プロトン注入領域
- 16 プロトン注入部分
- 17 ボンディングパッド

1 8 配線部  
2 1 酸化領域  
2 2 リーク電流  
5 0 周辺部  
1 0 0 メサ  
1 2 0 凹部  
1 5 0 高抵抗領域  
2 0 0 空洞  
6 0 0 酸化領域

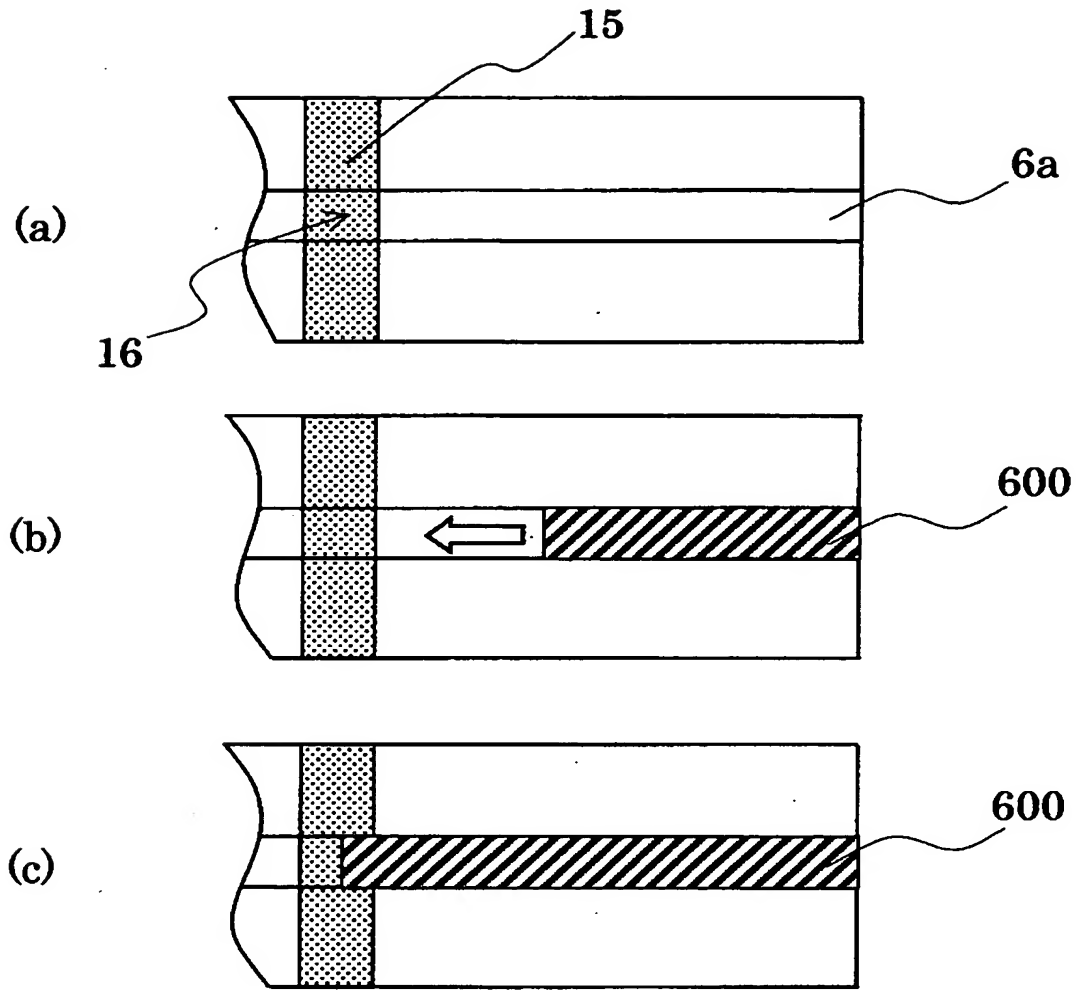
【書類名】 図面

【図 1】



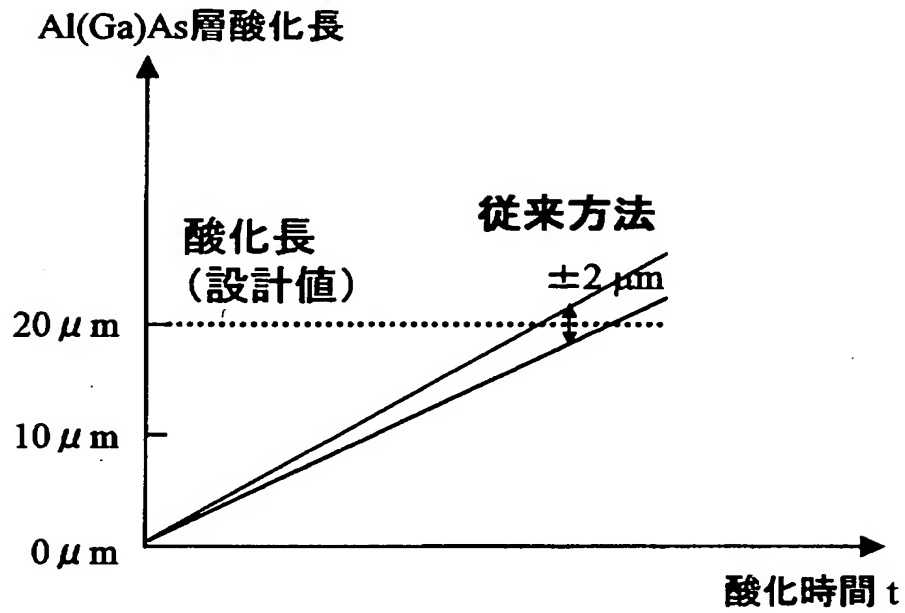


【図 2】

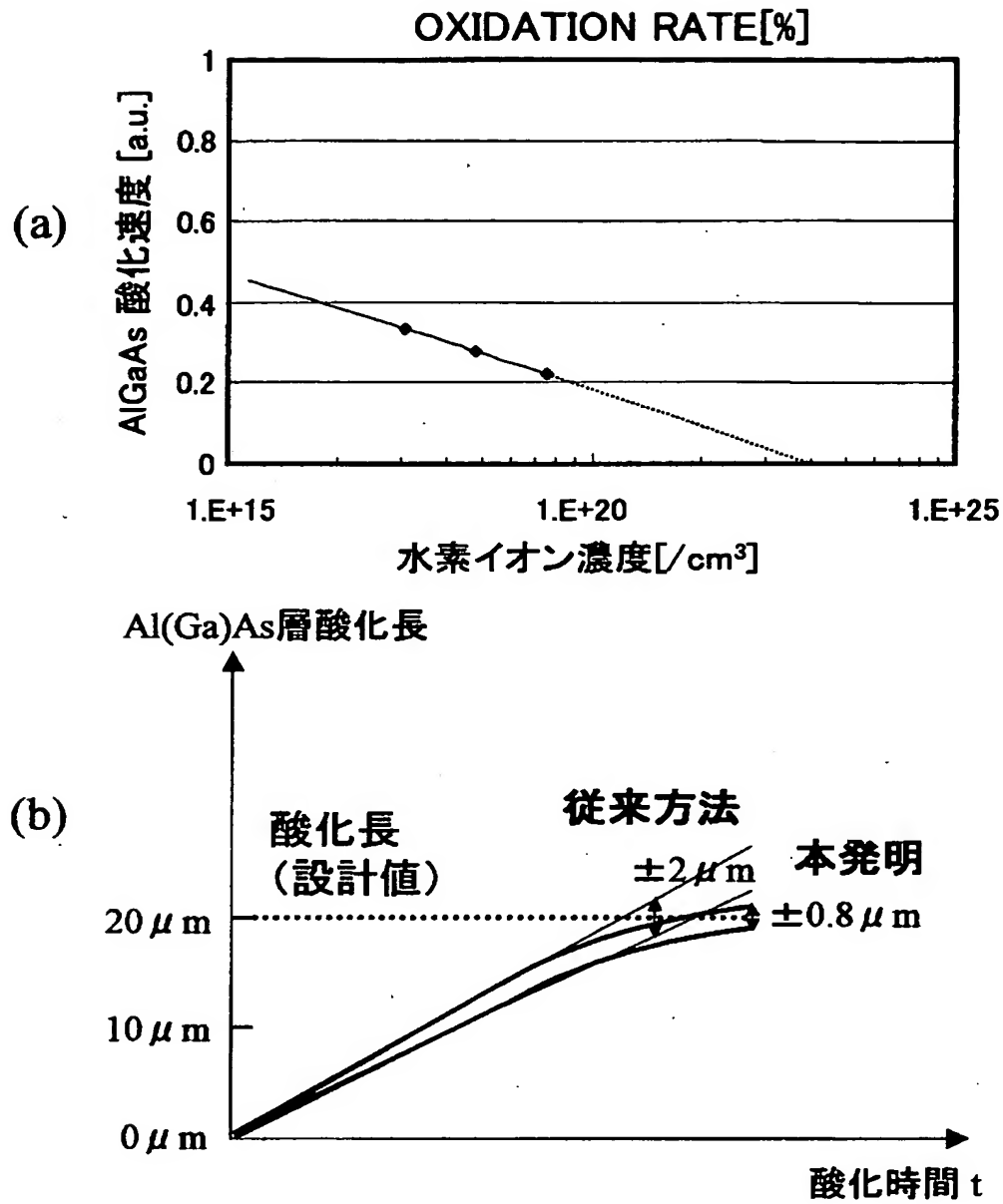


【図 3】

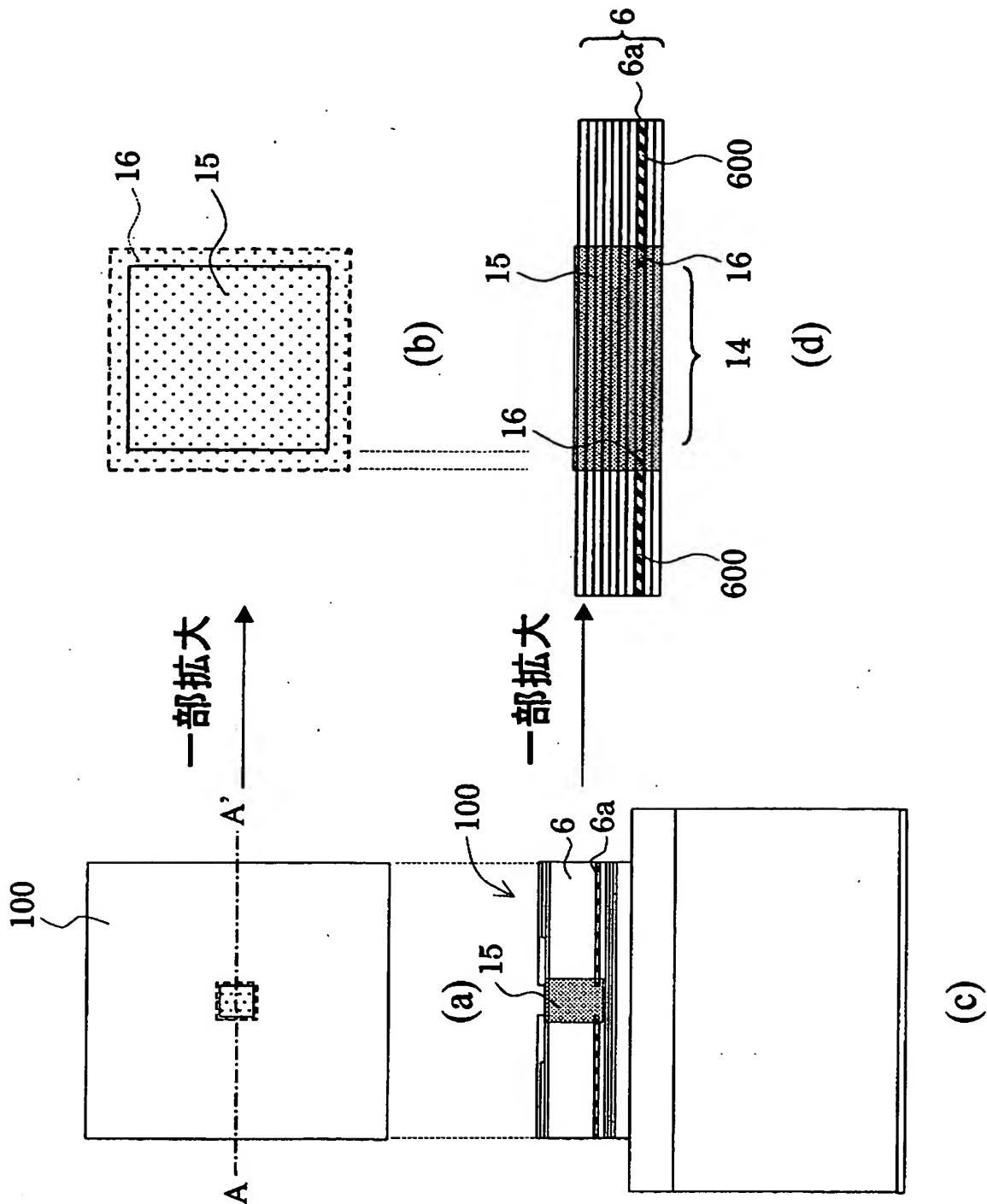
## 酸化速度の再現性



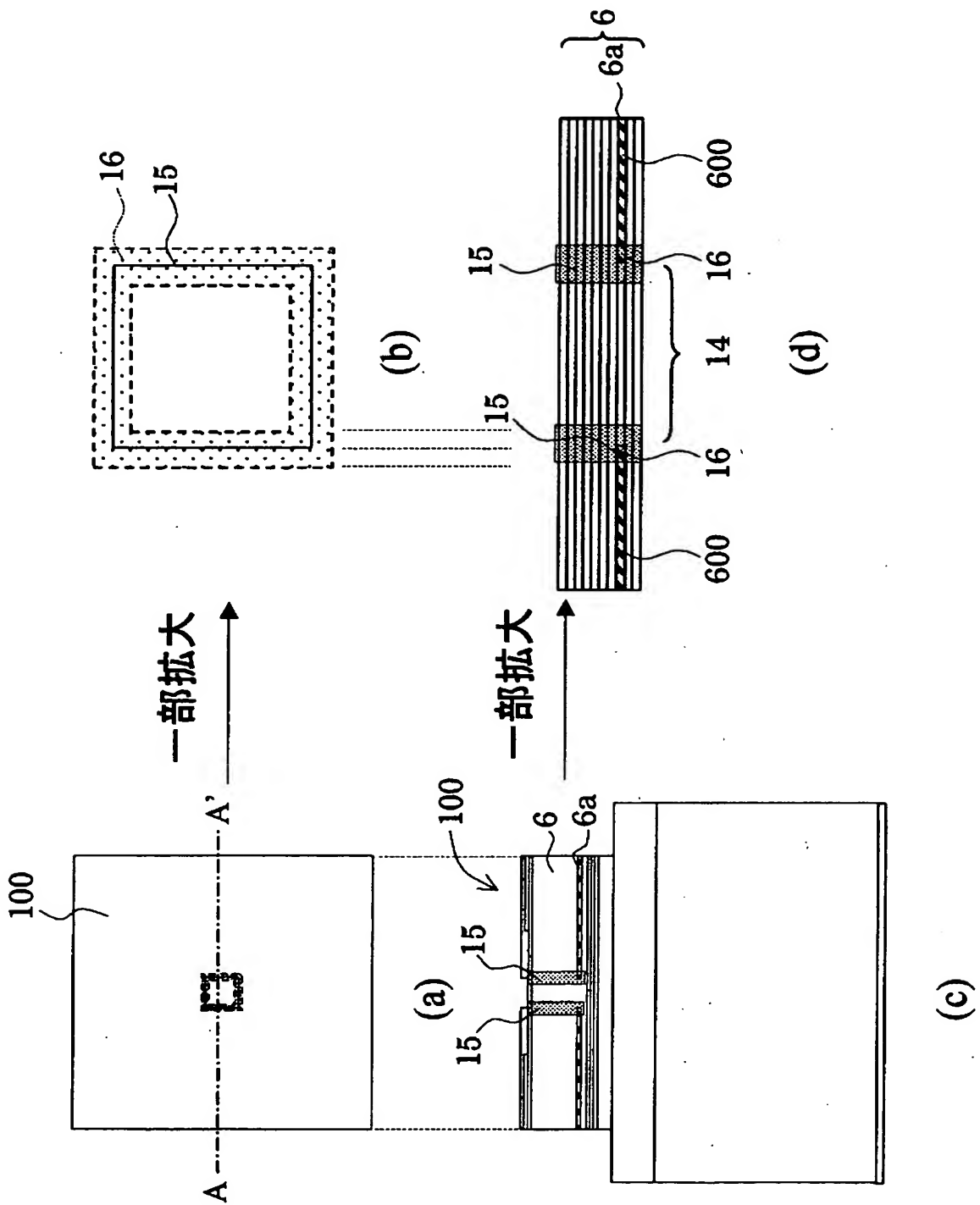
【図 4】



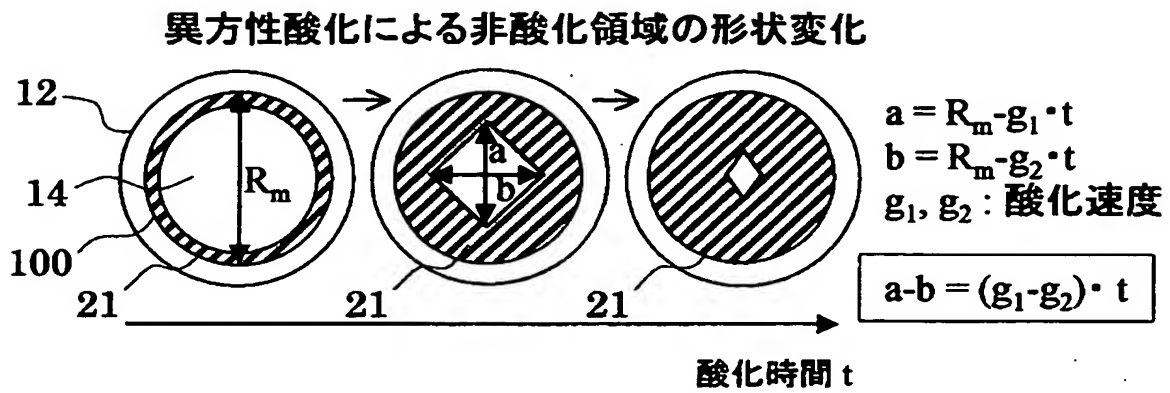
【図 5】



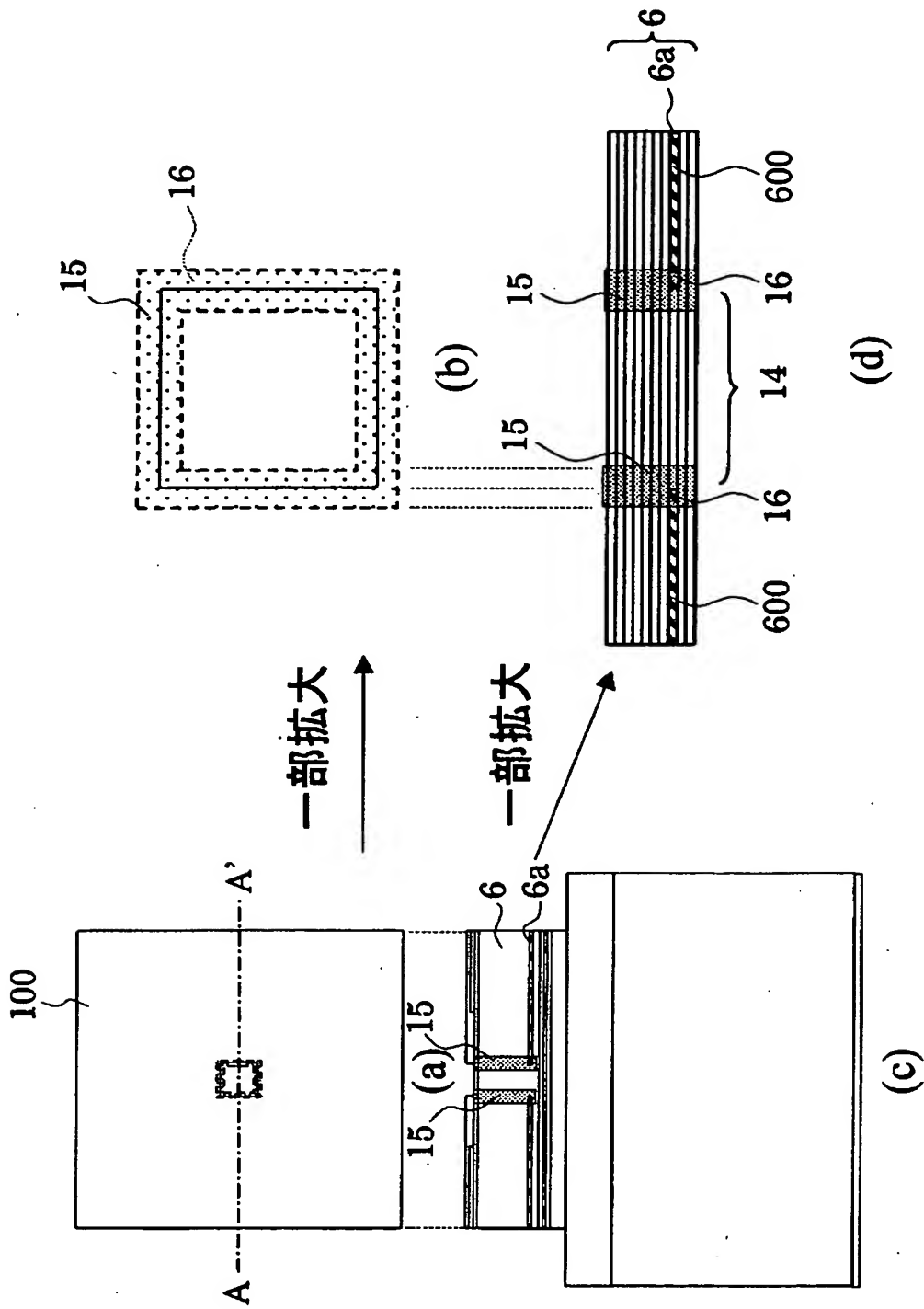
【図 6】



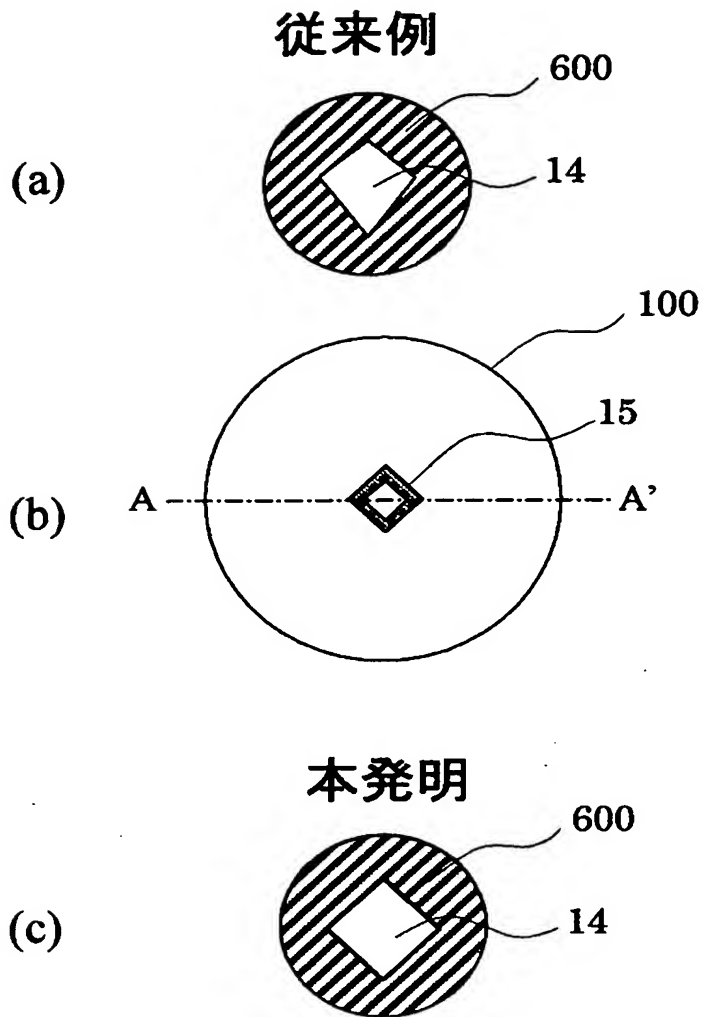
【図 7】



【図 8】

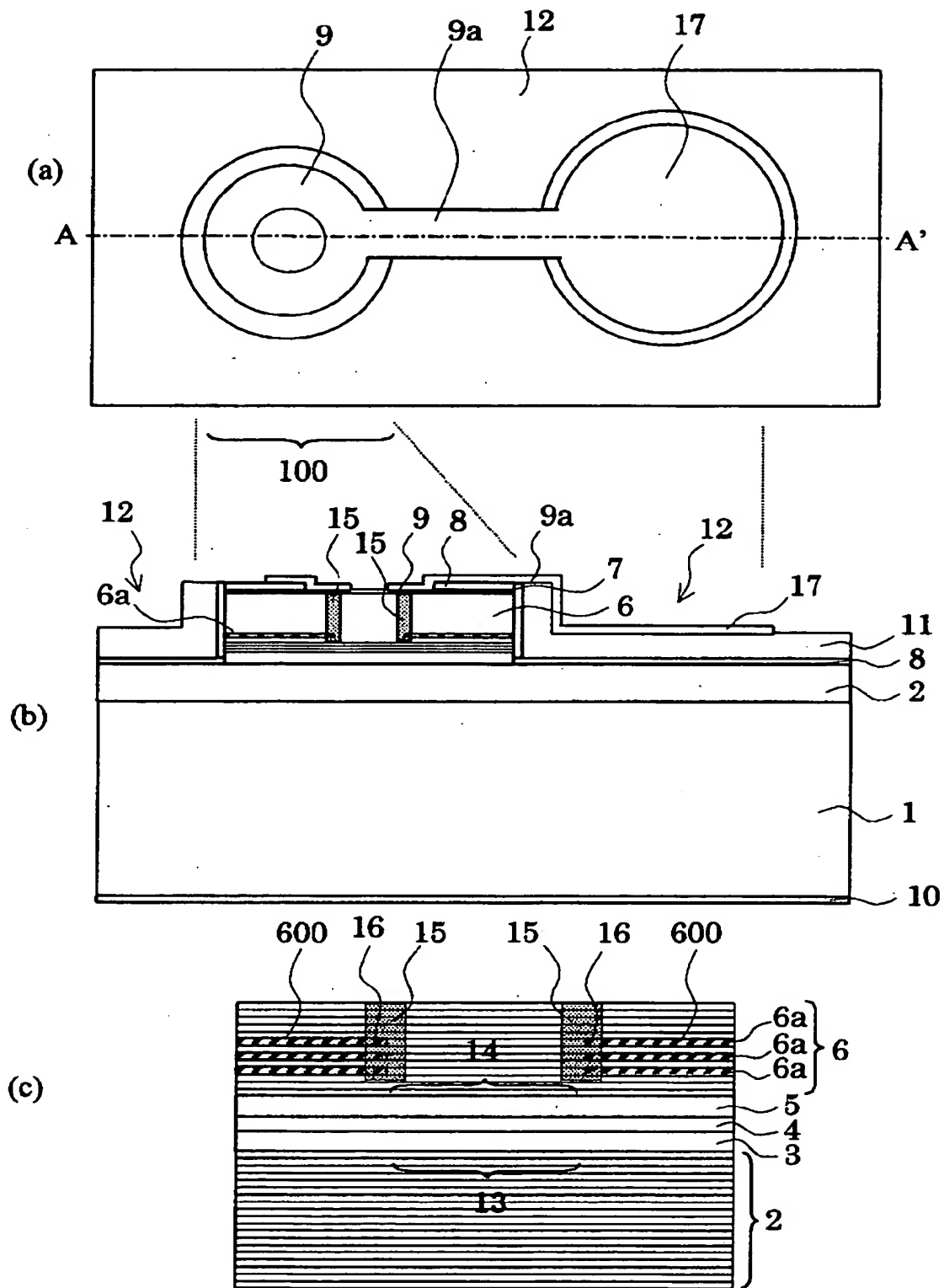


【図 9】

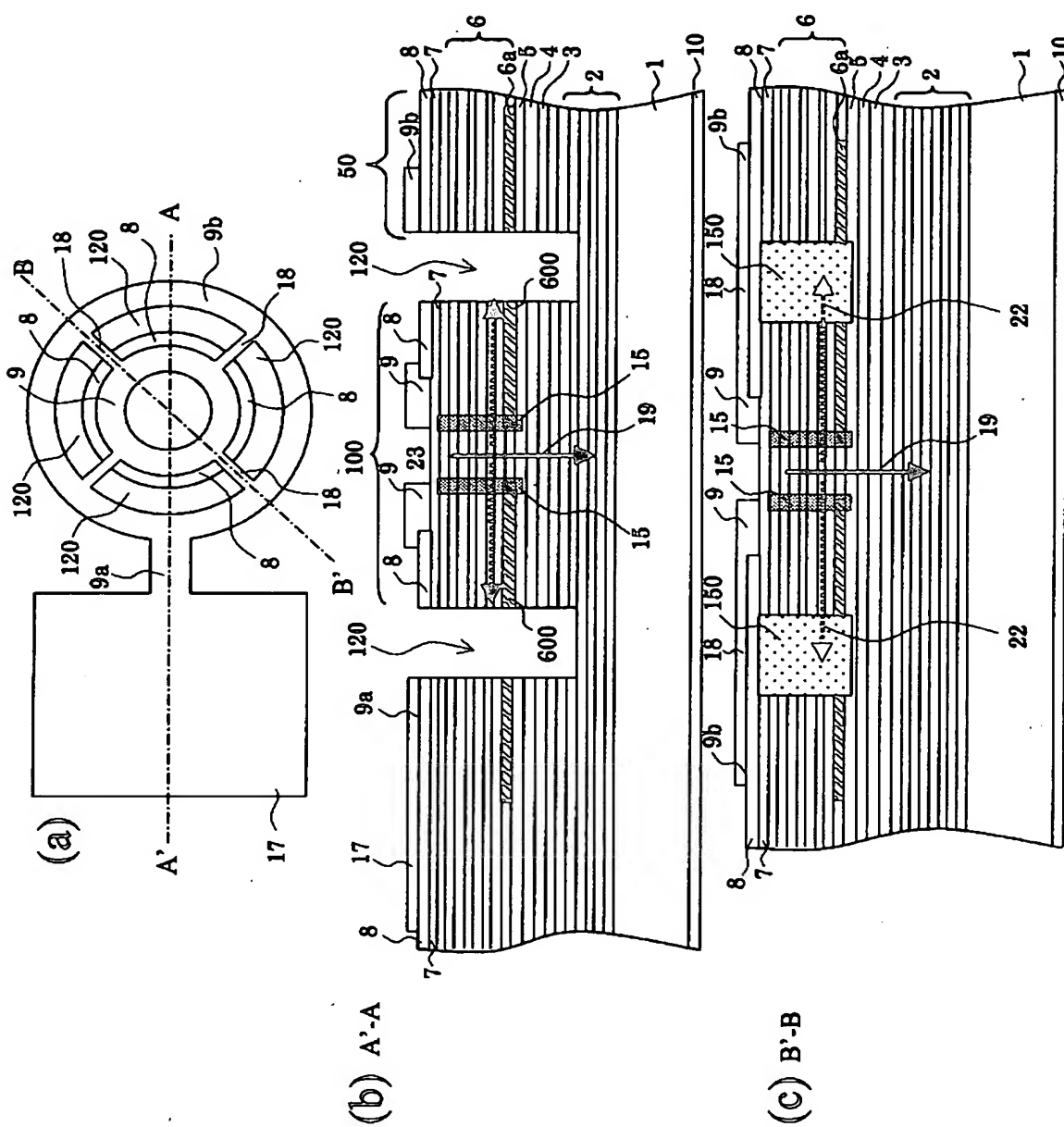




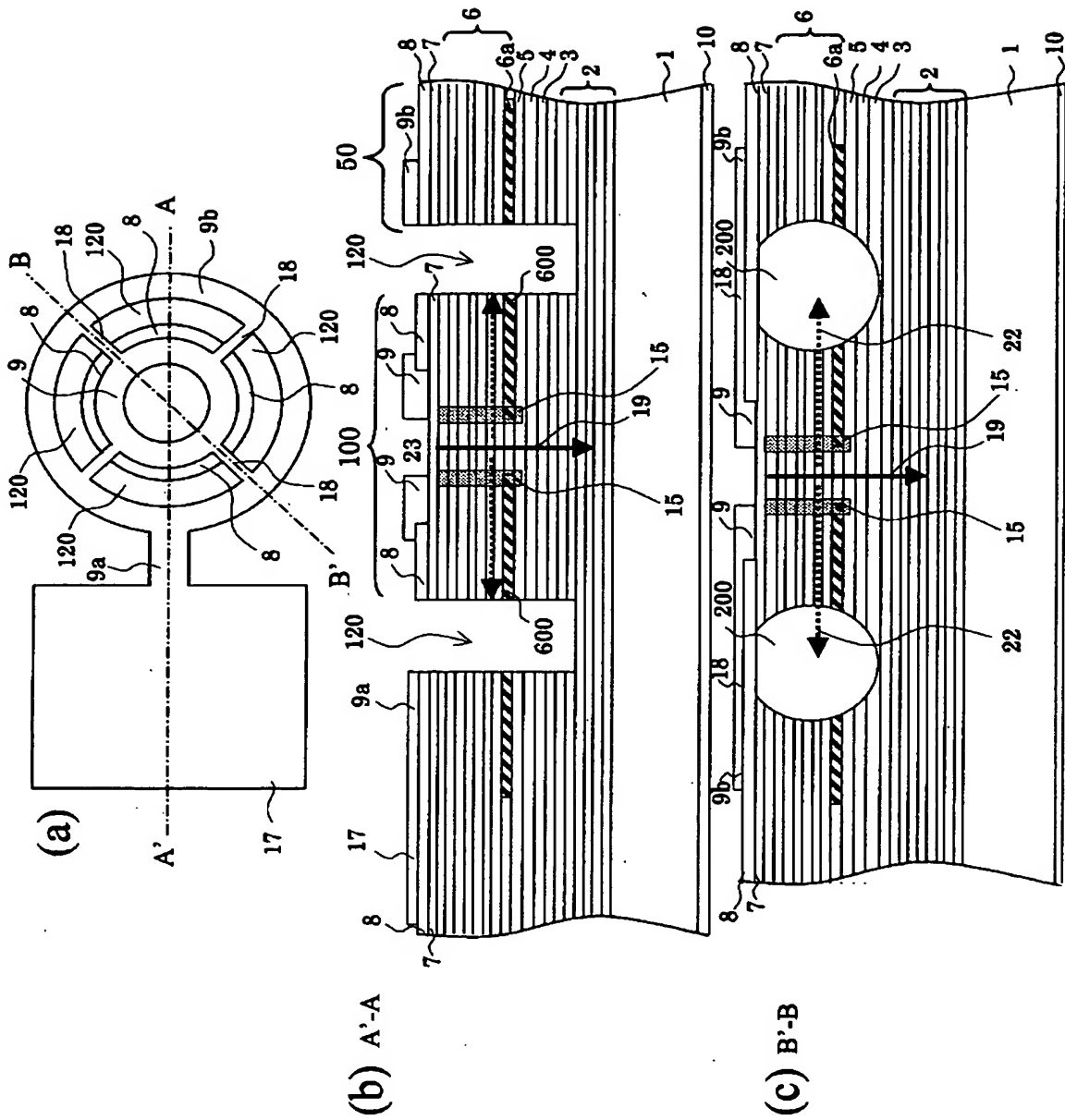
【図 10】



【圖 1 1】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 選択酸化における酸化長及び電流狭窄（非酸化）領域の寸法および形状の制御性が高めることにより、基板面内の均一性及び再現性を向上し、レーザ特性の素子間のバラツキを抑制した、量産性の高い、高性能な面発光型半導体素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 被酸化層（6a）を含むメサ（100）の側面から前記被酸化層の酸化を進行させて形成した酸化領域（600）を設けることにより前記被酸化層の酸化されていない未酸化領域に電流を狭窄させる面発光型半導体レーザであって、前記酸化領域と前記未酸化領域との境界付近に、プロトンを含有したプロトン含有領域（15、16）が設けられたことを特徴とする面発光型半導体レーザを提供する。

【選択図】 図1

特願 2002-342085

出願人履歴情報

識別番号

[000003078]

1. 変更年月日

2001年 7月 2日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都港区芝浦一丁目1番1号

氏 名

株式会社東芝